

D1. Funkčné radiačné detektory

REPORT

Funkčné radiačné detektory

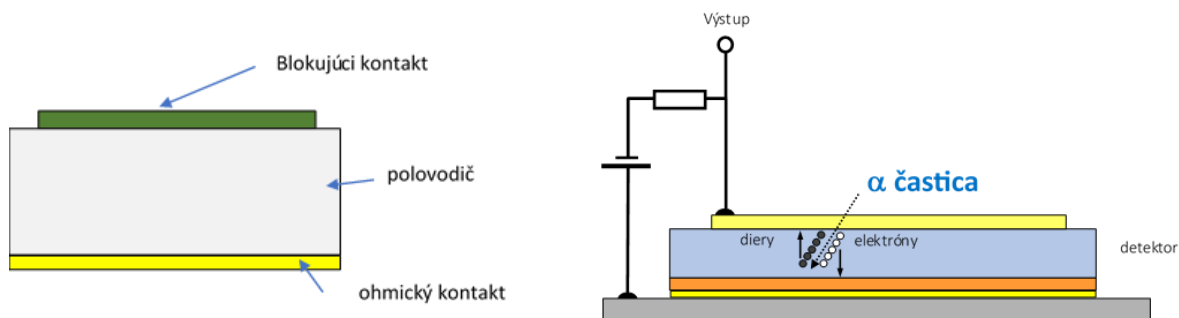
Názov projektu	Nové polovodičové materiály pre pixelové senzory s využitím pre digitálnu rádiografiu
Akronym projektu	PIXELRAD
Číslo projektu	09I05-03-V02-00073
Dátum začiatku projektu	Jan-24
Dátum ukončenia projektu	Aug-26
Dátum reportu	Aug-25

GaAs ukazuje viacero vlastností, ktoré sú výhodné v porovnaní s mnohými inými polovodičovými materiálmi ako je Si, Ge a CdTe. Napríklad jeho hustota $5,32 \text{ g cm}^{-3}$ je viac než dvojnásobná v porovnaní s Si, čo vedie k výrazne vyššej absorpcii fotónov, najmä v oblasti tvrdého röntgenového a γ -žiarenia. So šírkou pásma $1,42 \text{ eV}$ je schopný prevádzky pri izbovej teplote. Pohyblivosť elektrónov je $8500 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$, čo je približne šesťkrát viac než u Si, čo umožňuje rýchlejšiu odozvu detektora. Navyše jeho merný odpor presahuje $10^8 \Omega \text{ cm}$, čo umožňuje aplikovať vyššie elektrické polia.

Ďalším zaujímavým materiálom je karbid kremíka (SiC), ktorý sa skúma ako alternatíva ku kremíku. Je schopný pracovať pri vysokých teplotách, ponúkajú výbornú chemickú stabilitu a odolnosť voči ionizujúcemu žiareniu. Šírka zakázaného pásma je $3,23 \text{ eV}$, približne trikrát väčší ako u Si má za následok extrémne nízky šumový prúd a umožňuje stabilnú prevádzku detektora aj pri zvýšených teplotách až do $700 \text{ }^\circ\text{C}$. Túto tepelnú stabilitu ďalej podporuje aj vysoká tepelná vodivosť SiC, ktorá je približne dvakrát vyššia ako u Si. Pohyblivosť elektrónov je $900 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ a saturačná rýchlosť nosičov náboja je $2 \times 10^7 \text{ cm s}^{-1}$ čo je dvojnásobná hodnota oproti Si.

Základná štruktúra radiačného detektora je na obr. 1 vľavo. Okrem polovodičového materiálu obsahuje blokujúci alebo typicky Schottkyho kontakt na hornej strane substrátu a ohmický kontakt na spodnej strane. Úlohou blokujúceho kontaktu je zabezpečiť čo najnižší prúd pri pracovnom napätí. Pre prípravu blokujúceho kontaktu sa najčastejšie využívajú tenké vrstvy (nm) pripravené vákuovým naparovaním z Pt, Au, Ni, In. Zadná ohmická strana býva typicky celoplošná. Pri činnosti sa detektor pripája na vhodné napätie cez tzv. pracovný odpor, ktorý zabezpečuje jeho ochranu pri prípadnom prieraze. Výstup sa pripája k nízkošumovému nábojovocitlivému predzosilňovaču. Obr. 1 (vpravo) ukazuje základný princíp činnosti radiačného detektora. Po preniknutí ionizačnej častice (alfa-častica) do objemu polovodiča, dochádza ku generácii elektrón-dierových párov, ktoré sú vplyvom vonkajšieho pracovného napätia separované a generujú prúdový impulz, ktorý je ďalej spracovaný pripojenou elektronikou.

D1. Funkčné radiačné detektory



Obr. 1: Schéma radiačného detektora (vľavo) a princíp detekcie alfa častíc (vpravo).

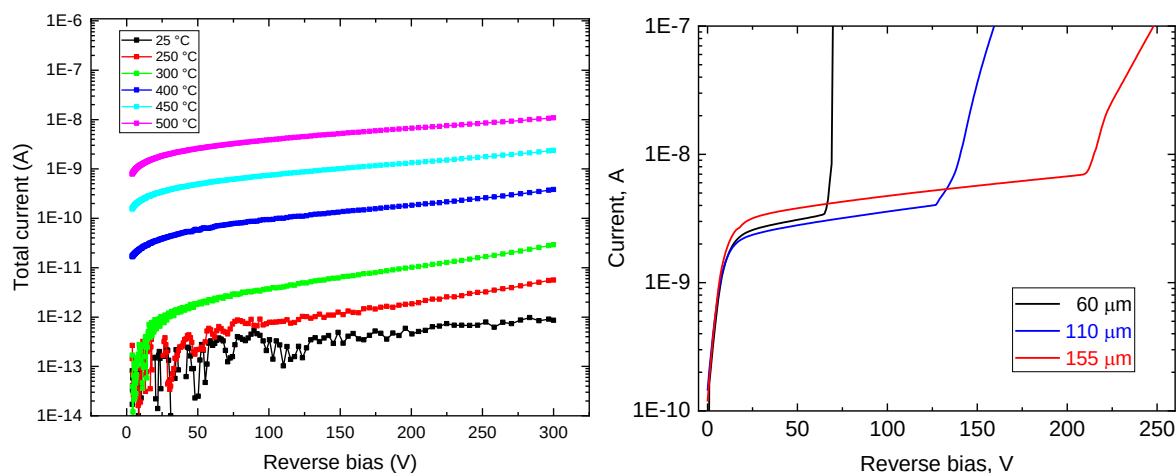
Radiačný detektor je nutné pripojiť k nábojovocitlivému predzosilňovaču, ktorý transformuje prúdový impulz z detektora na napäťový skok, ktorý je úmerný absorbovanej energii detegovanej častice. Signál sa ďalej spracováva v digitálnom zosilňovači, ktorý optimalizuje pomer signál/šum a v kombinácii s počítačom sa zobrazuje spektrum detektorových impulzov, ktoré zodpovedá energiám detegovaných častíc. Obr. 2 ukazuje pripravené detekčné štruktúry rôznych veľkostí na GaAs substráte (vľavo) a SiC substráte (v strede). Takto pripravené štruktúry je nutné rozrezať na jednotlivé detektory. Tie sa potom nakontaktujú a nalepia na vhodnú položku (vpravo).



Obr. 2. Pripravené kruhové kontakty na GaAs substráte (vľavo), kontakty na SiC substráte (v strede) a samotný detektor pripravený na podložku vhodný na letovanie do krabičky, puzdra.

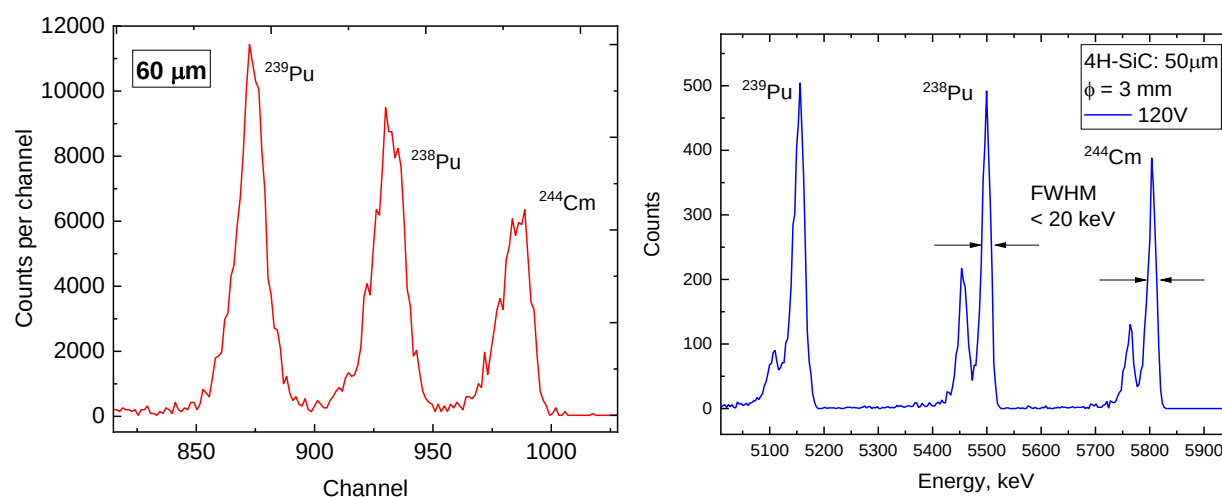
V prvom kroku je nutné zmerať volt-ampérové charakteristiky, ktoré určujú hodnotu záverného prúdu a maximálne použiteľné napätie. Obr. 3 (vľavo) ukazuje zmerané volt-ampérové charakteristiky SiC detektora pri rôznych teplotách. Je vidieť, že prúd pri izbovej teplote je veľmi nízky na úrovni pA a pri zvýšení teploty na 500 °C je jeho hodnota na úrovni 10 nA. Vpravo sú charakteristiky GaAs detektorov s tromi rôznymi hrúbkami. Je vidieť, že so zväčšujúcou sa hrúbkou detektora, rastie aj maximálne použiteľné napätie. Prúd je pri izbovej teplote na úrovni nA. Pri porovnaní s SiC detektorom sú prúdy v prípade GaAs podstatne vyššie.

D1. Funkčné radiačné detektory



Obr. 3. Volt-ampérové charakteristiky SiC detektora s hrúbkou 50 μm pri rôznych teplotách 25 – 500 $^{\circ}\text{C}$ (vľavo) a GaAs detektorov s rôznymi hrúbkami.

V ďalšom kroku detekčné štruktúry je nutné testovať zdrojmi ionizujúceho žiarenia so známymi charakteristikami, aby sa stanovili parametre detektora. Tu využívame trojitý zdroj alfa žiarenia ^{239}Pu , ^{238}Pu a ^{244}Cm , ktorý generuje častice s rôznymi energiami. Takto môžeme detektor charakterizovať a kalibrovať. Obr. 4 ukazuje porovnanie detegovaných spektier alfa častíc s detektormi GaAs a SiC. Energetické rozlíšenie je dané šírkou pík, kde SiC ukazuje užšie píky a je schopný rozlíšiť aj susedné energie. Je to dané vyššou kvalitou polovodičového materiálu, a tiež nižšími hodnotami záverných prúdov detektora, keďže prúd je zdrojom šumu, ktorý zhoršuje energetické rozlíšenie. Obr. 5. ukazuje funkčný zapúzdrený detektor a jeho pripojenie k nábojovocitlivému predzosilňovaču pomocou ktorého je možné detektor testovať a použiť v reálnych podmienkach.



Obr. 4. Detegované spektrum alfa častíc generované trojžiaričom ^{239}Pu , ^{238}Pu a ^{244}Cm s GaAs detektorom (vľavo) a s SiC detektorom (vpravo)

D1. Funkčné radiačné detektory



Obr. 5. Zapuzdrený detektor (vľavo) a jeho pripojenie k nábojovcitlivému predzosilňovaču cez BNC konektor.